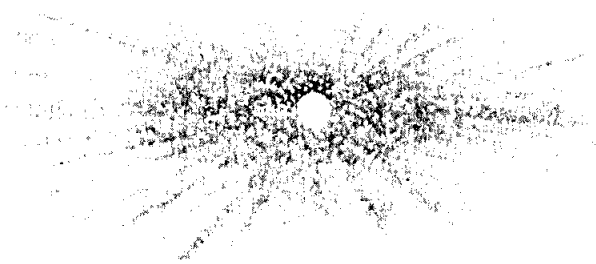
บทที่ 6
แกแลกซี

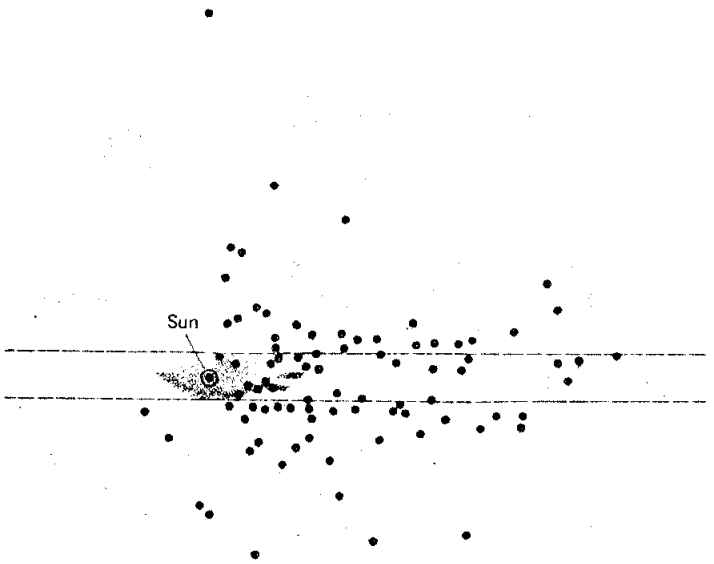
6.1 การกระจายของกระจุกดาวทรงกลม

ในระยะเริ่มแรกของการศึกษาเอกภพ นักดาราศาสตร์คาดว่าแกแลกซีของเรามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10,000 ปีแสง โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของแกแลกซีมาก ๆ ดังรูปที่ 6.1 ในปี ค.ศ. 1917 **ฮาร์โล แชพเลย์** (Harlow Shapley) นักดาราศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ได้ศึกษากระจุกดาวทรงกลม (globular cluster : ดูรายละเอียดหัวข้อที่ 1.6.1), กระจุกดาวทรงกลมยักษ์ (giant spherical star cluster) กระจุกดาวทรงกลมประกอบด้วยดาวฤกษ์หลาย ๆ หมื่นดวงจนถึงหลายแสนดวง (ซึ่งมีชื่อเรียกว่า กระจุกดาวทรงกลมยักษ์) เกือบทั้งหมดของกระจุกดาวทรงกลมประกอบด้วยอย่างน้อยที่สุดมีดาวแปรแสง (varible star) ประเภทดาวอาร์อาร์ ไลเร (RR Lyrae : เป็นดาวแปรแสงประเภทหนึ่งที่มีความสว่างเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมาก โดยมีคาบเวลาการแปรแสงหนึ่งวันหรือน้อยกว่า และดาวชนิดนี้มีสภาพส่องสว่างประมาณหนึ่งร้อยเท่าของดวงอาทิตย์ที่มีสภาพส่องสว่างมากที่สุด ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์อยู่ระหว่าง 0 และ +1) หลายดวง ระยะทางของกระจุกดาวทรงกลมสามารถคำนวณได้จากการสังเกตความสว่างปรากฏของดาวอาร์อาร์ ไลเร แล้วใช้กฎกำลังสองผกผัน



รูปที่ 6.1 แผนภาพเขียนโดยเฮอร์เชล แสดงภาคตัดขวางของดาวฤกษ์ในระบบทางช้างเผือก วงกลมใหญ่ได้แก่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของระบบทางช้างเผือก

(ดูรายละเอียดในบทที่ 8) คำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวทรงกลมต่อไป แชพเลย์ได้ศึกษากระจุกดาวทรงกลม 93 กลุ่มในอวกาศ และพบว่ากระจุกดาวทรงกลมอยู่รวมกันเป็นระบบรูปทรงกลมหยาบ ๆ ซึ่งมีความหนาแน่นของกระจุกดาวทรงกลมสูงสุดที่จุดศูนย์กลาง จุดศูนย์กลางนี้ไม่ใช่ดวงอาทิตย์ แต่เป็นจุดในกึ่งกลางของทางช้างเผือก (Milky Way) ในทิศทางไปยังกลุ่มดาวคนยิงธนู (Sagittarius) และที่ระยะทางมากกว่า 25,000 ถึง 30,000 ปีแสง (เป็นระยะทางที่แชพเลย์ประมาณว่าดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของแกแลกซีทางช้างเผือก) แชพเลย์



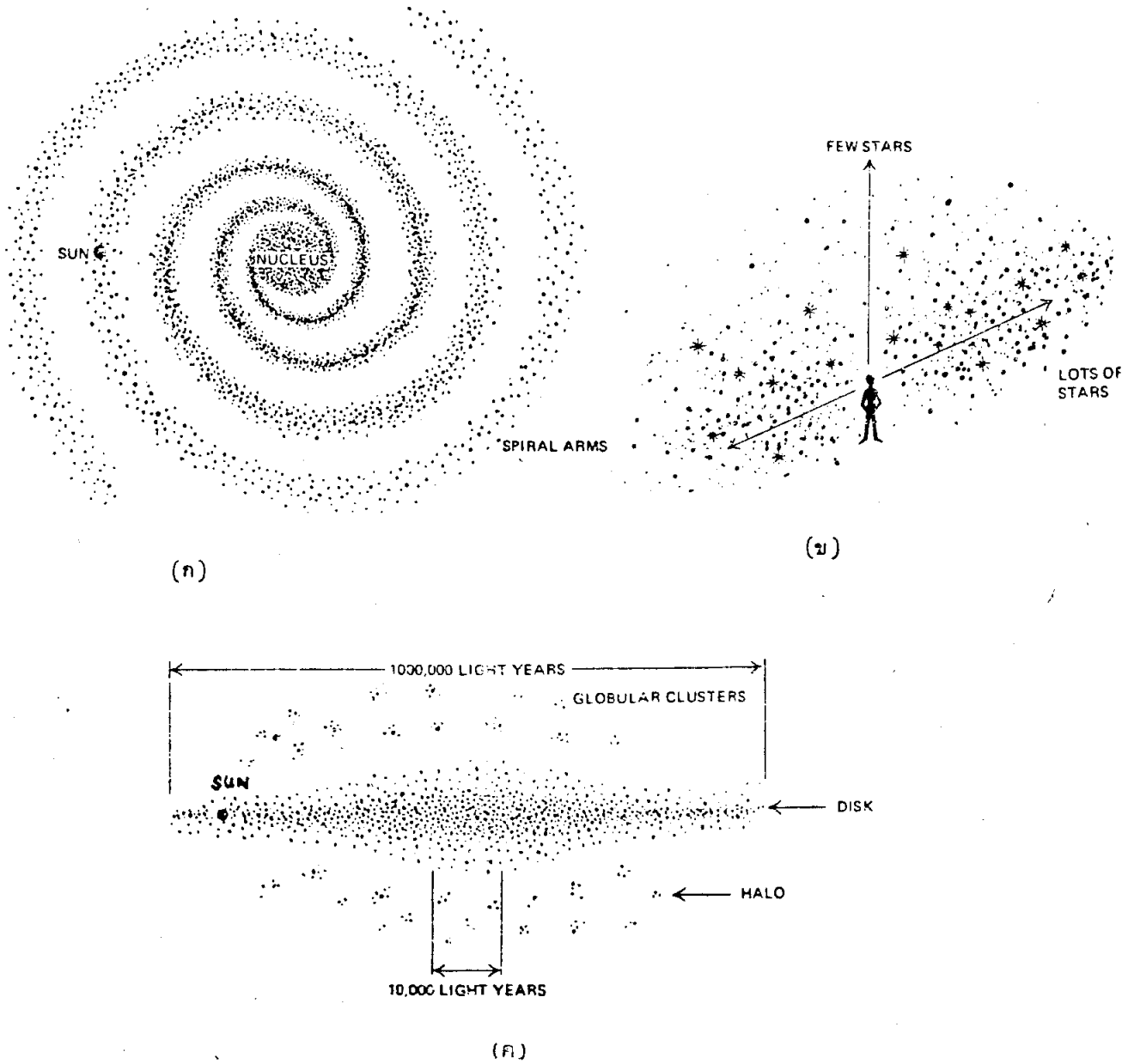
รูปที่ 6.2 แผนภาพเขียนโดยแชพเลย์ แสดงถึงการกระจายของกระจุกดาวทรงกลมในระนาบตั้งฉากกับทางช้างเผือก และประกอบไปด้วยดวงอาทิตย์และจุดศูนย์กลางของแกแลกซี สำหรับแผนภาพของเฮอร์เชล (รูปที่ 6.1) แสดงถึงดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางของแกแลกซี

ได้ตั้งสมมติฐานว่า ระบบของกระจุกดาวทรงกลมแทนด้วยกรอบกระดูกของแกแลกซีทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ปัจจุบันนี้สมมติฐานนี้ได้มีการพิสูจน์โดยศึกษาโครงสร้างของแขนกังหันของแกแลกซีจากรังสีที่มีความยาวคลื่น 21 เซนติเมตรจากไฮโดรเจนที่เป็นกลาง และสังเกตการกระจายของกระจุกดาวทรงกลมในแกแลกซีแบบกังหันอื่น ๆ ได้ผลดังรูปที่ 6.3

6.2 โครงสร้างของทางช้างเผือก

แกแลกซีเป็นระบบที่ประกอบด้วยดาวฤกษ์หลาย ๆ พันล้านดวง (คาดว่าอาจมีถึงแสนล้านดวง), แก๊ส และฝุ่น แกแลกซีที่เราอยู่มีชื่อเรียกว่า แกแลกซีทางช้างเผือก หรือทางช้างเผือก ส่วนแกแลกซีอื่น ๆ เรียกว่า แกแลกซีนอกระบบ จากการรวบรวมข้อมูลทางด้านทัศนโทร-ทรรศน์และโทรทรรศน์วิทยุ นักดาราศาสตร์สามารถสร้างแผนที่โครงสร้างของทางช้างเผือกได้ ทางช้างเผือกมีลักษณะคล้ายจานสองใบวางคว่ำประกบกัน โดยที่ตรงกลางนูนแล้วแผ่แบนออกไปรอบ ๆ ในลักษณะคล้ายไข่ดาว แต่ส่วนที่แผ่กระจายออกจากส่วนตรงกลางจะโค้งวนเหมือนแขนกังหันซึ่งเป็นส่วนแขนกังหันของแกแลกซีของเรา ถ้าเรามองไปทางแกนกลางของแกแลกซีหรือแถบทางช้างเผือก เราจะเห็นกลุ่มดาวฤกษ์มีความหนาแน่นมากพาดจากขอบฟ้าตะวันออกไปทางขอบฟ้าตะวันตก เช่น มองไปทางกลุ่มดาวคนยิงธนู แต่ถ้าเรามองไปทางทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบแกนกลางของแกแลกซี (หรือตั้งฉากกับทางช้างเผือก) เราจะเห็นดาวฤกษ์มีจำนวนเบาบางมาก เช่น มองไปทางกลุ่มดาวเซตุส (Cetus) ดาวฤกษ์ทุกดวงที่อยู่บนท้องฟ้าที่เรามองเห็นด้วยตาเปล่าจะเป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ในแกแลกซีเดียวกับเราทั้งสิ้น

จากรูปที่ 6.3 แกแลกซีทางช้างเผือกประกอบด้วยระบบของดาวฤกษ์ 10^{11} ดวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 30,000 พาร์เสก หรือ 100,000 ปีแสง ประกอบด้วยจานที่มีขนาดใหญ่หนาประมาณ 1,000 ปีแสง จานนี้ประกอบด้วยดาวฤกษ์, แก๊ส และฝุ่นเป็นจำนวนมากมายมหาศาล วัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในจานนี้ (รวมทั้งระบบสุริยะของเราด้วย) จะเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบ ๆ ส่วนที่นูนตรงกลางเรียกว่า นิวเคลียส (nucleus) นิวเคลียสเป็นบริเวณที่มีดาวฤกษ์อยู่อย่างหนาแน่นมาก มีขนาดหนาประมาณ 6,000 ปีแสง และกว้าง 10,000 ปีแสง ระบบสุริยะของเราอยู่ที่แขนของแกแลกซี (หรืออยู่บนจานของแกแลกซี) โดยอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของแกแลกซีประมาณ 25,000 ปีแสง ถึง 30,000 ปีแสง เมื่อเทียบอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วจะเห็นได้ว่า แกแลกซีของเรามีลักษณะค่อนข้างแบนเหมือนกับระบบสุริยะ แกแลกซีทั้งระบบมีการหมุนรอบตัวเอง ดวงอาทิตย์อยู่ที่แขนกังหันของแกแลกซีและมีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็ว 220 ถึง 250 กิโลเมตรต่อวินาที ในเส้นทางเกือบเป็นวงกลมรอบ ๆ นิวเคลียสซึ่งเราอนุมานได้จากการเคลื่อนที่ปรากฏของวัตถุต่าง ๆ รอบ ๆ ตัวเราที่ไม่มีส่วนในการหมุนของแกแลกซี กระจุกดาวทรงกลมเป็นวัตถุที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากกระจุกดาวทรงกลมอยู่กระจายเป็นรูปทรงกลมนอกระบบแกแลกซีของเรา และมีหลักฐานว่าระบบของกระจุกดาวทรงกลมทั้งหมดไม่ได้หมุนเร็วเท่าจานของแกแลกซี โดยการวิเคราะห์ความเร็วรัศมี *(โปรดดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.1)* ของกระจุกดาวทรงกลมในทิศทางต่าง ๆ เราสามารถพิจารณาการเคลื่อนที่ของดวง-



รูปที่ 6.3 (ก) แสดงโครงสร้างทางช้างเผือกโดยที่ดวงอาทิตย์อยู่ที่แขนของกังหันเมื่อมองทางด้านบน
(ข) แสดงความหนาแน่นของดาวฤกษ์ในทิศทางต่าง ๆ บนท้องฟ้า เมื่อมองจากโลก
(ค) มองโครงสร้างทางช้างเผือกทางด้านข้าง

อาทิตย์เทียบกับกระจุกดาวทรงกลมเหล่านี้ได้เช่นเดียวกับวิธีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบสุริยะเทียบกับจุดอ้างอิงมาตรฐานกลุ่มท้องถิ่น (local standard rest)

การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแกแลกซีสามารถอนุมานได้อีกวิธีหนึ่งจากความเร็วรัศมีของแกแลกซีนอกระบบที่อยู่ใกล้กับแกแลกซีของเรา เช่น เมฆเมกเจลแลนใหญ่ (Large Magellanic cloud) ซึ่งมีความเร็วรัศมีของการเคลื่อนที่ออกจากดวงอาทิตย์ประมาณ 270 กิโลเมตรต่อวินาที ในขณะที่แกแลกซีแอนโดรเมดา (Andromeda galaxy) มีความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าหาดวงอาทิตย์ประมาณ 300 กิโลเมตรต่อวินาที จากการศึกษาความเร็วรัศมีของแกแลกซีที่อยู่ใกล้แสดงให้เห็นว่า ถ้าแกแลกซีเหล่านี้เคลื่อนที่สะเปะสะปะด้วยความเร็วของมันเองเมื่อเทียบกับแต่ละแกแลกซีและกับจุดศูนย์กลางของแกแลกซีของเรา มันจะมีความเร็วสัมพัทธ์เล็กน้อย แต่จากการสังเกตพบว่า แต่ละแกแลกซีมีความเร็วสัมพัทธ์สูงมาก ซึ่งความจริงเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ในวงโคจรของดวงอาทิตย์รอบจุดศูนย์กลางของแกแลกซีของเรา เราจึงสรุปได้ว่า ดวงอาทิตย์กำลังเคลื่อนที่ในทิศทางทั่วไปออกจากเมฆเมกเจลแลนใหญ่และเคลื่อนที่เข้าหาแกแลกซีแอนโดรเมดา

เมื่อนำข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ มารวมกันจะได้ผลว่า **ดวงอาทิตย์กำลังเคลื่อนที่ในทิศทางสู่กลุ่มดาวหงส์** (Cygnus) ด้วยอัตราความเร็วในช่วง 220 ถึง 250 กิโลเมตรต่อวินาที ทิศทางเหล่านี้อยู่ในทางช้างเผือก และทำมุม 90° จากทิศทางของจุดศูนย์กลางของแกแลกซี ซึ่งแสดงว่าวงโคจรของดวงอาทิตย์เกือบเป็นวงกลมและอยู่ในระนาบใหญ่ของแกแลกซี เมื่อมองจากทางด้านเหนือของระนาบของแกแลกซี การเคลื่อนที่ในวงโคจรของดวงอาทิตย์มีทิศทางตามเข็มนาฬิกา คาบเวลาของวงโคจรของดวงอาทิตย์รอบ ๆ นิวเคลียสเรียกว่า ปีแกแลกติก (galactic year) สามารถหาได้จากการหารระยะทางของวงโคจรของดวงอาทิตย์ด้วยอัตราความเร็วของมัน ตัวเลขหยาบ ๆ เท่ากับ 200 ล้านปี (2×10^8 ปี)

6.3 มวลของแกแลกซีของเรา

จากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแกแลกซีของเรา ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณหามวลของแกแลกซีของเราได้ สมมติว่ามวลของแกแลกซีส่วนใหญ่อยู่ที่จุดศูนย์กลางของแกแลกซีและแกแลกซีหมุนรอบ ๆ มวลนี้ ระยะทางของดวงอาทิตย์จากจุดศูนย์กลางของแกแลกซีเท่ากับ 50,000 ปีแสง และคาบเวลาที่ดวงอาทิตย์หมุนครบรอบมีค่า 200 ล้านปี จากกฎของเคปเลอร์ข้อที่ 3 และกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน จะได้ว่า

$$(M_{\text{แกแลกซี}} + m_{\text{ดวงอาทิตย์}}) \times (P_{\text{ดวงอาทิตย์}})^2 = (a_{\text{ดวงอาทิตย์}})^3$$

เมื่อ $M_{\text{แกแลกซี}}$ = มวลของแกแลกซี

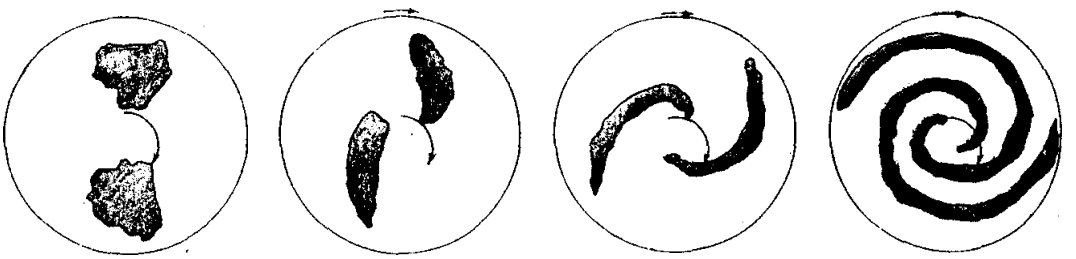
$m_{\text{ดวงอาทิตย์}}$ = มวลของดวงอาทิตย์

$P_{\text{ดวงอาทิตย์}}$ = คาบเวลาการหมุนครบรอบของดวงอาทิตย์

$a_{\text{ดวงอาทิตย์}}$ = ระยะทางของดวงอาทิตย์จากจุดศูนย์กลางของแกแลกซี

จากการคำนวณได้มวลของแกแลกซีของเรามีค่าประมาณ 150,000 ล้านเท่ามวลของดวงอาทิตย์

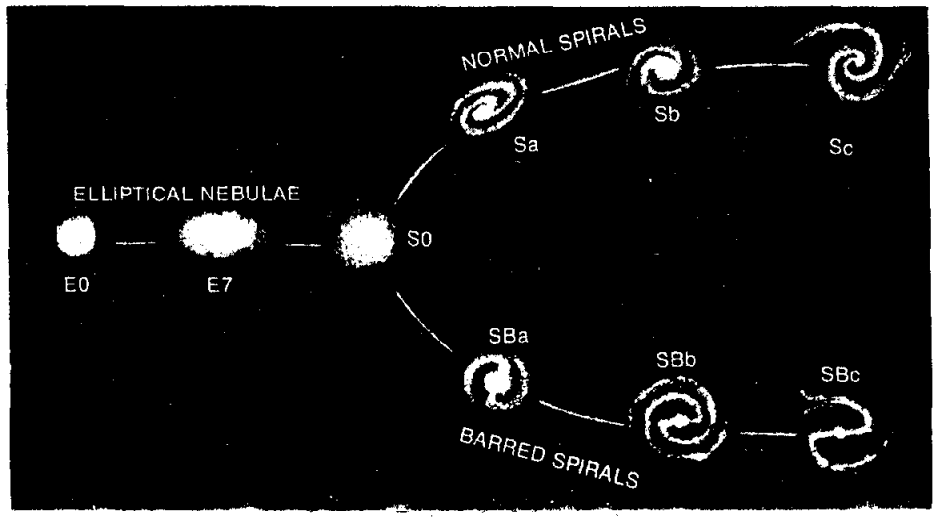
6.4 การเกิดแขนกังหันของแกแลกซี



รูปที่ 6.4 สมมติฐานการเกิดแขนกังหันสองแขนของแกแลกซีรูปกังหันจากกลุ่มเมฆสสารระหว่างดวงดาว

รูปที่ 6.4 แสดงถึงการพัฒนาการเกิดแขนกังหันจากกลุ่มสสารระหว่างดวงดาว (inter-stellar matter) สองกลุ่ม ที่ปลายของกลุ่มทั้งสองจะรวมกันเป็นก้อนซึ่งจะเป็นจุดศูนย์กลางของแกแลกซีและเคลื่อนที่เร็วที่สุดในขณะที่กลุ่มสสารระหว่างดวงดาวที่ไกลออกไปจะเป็นแขนกังหัน มันเป็นสิ่งที่เข้าใจได้ยากกว่าทำไมแขนกังหันของแกแลกซีของเราจึงไม่หมุนขดแน่นกว่านี้ เนื่องจากที่ระยะทางของดวงอาทิตย์จากจุดศูนย์กลางของแกแลกซีนั้น แกแลกซีหมุนครบหนึ่งรอบใช้เวลาประมาณ 2×10^8 ปี อายุทั้งหมดของแกแลกซี นักดาราศาสตร์เชื่อว่าประมาณ 10^{10} ปี ในกรณีนี้นักดาราศาสตร์เชื่อว่า ดวงอาทิตย์หมุนครบรอบอย่างน้อยที่สุด 50 รอบ ซึ่งเป็นจำนวนรอบการหมุนที่มาก จะทำให้แขนกังหันขดเป็นจำนวนรอบมากขึ้น แต่ความเป็น ค.ศ. 1963 **ซี.ซี. ลิน** (C.C. Lin) และผู้ช่วยของเขา **แฟรงค์ ชู** (Frank Shu), **ไช หยวน** (Chi Yuan) ได้วิเคราะห์และพยายามแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นนี้ เขาเสนอว่า โครงสร้าง

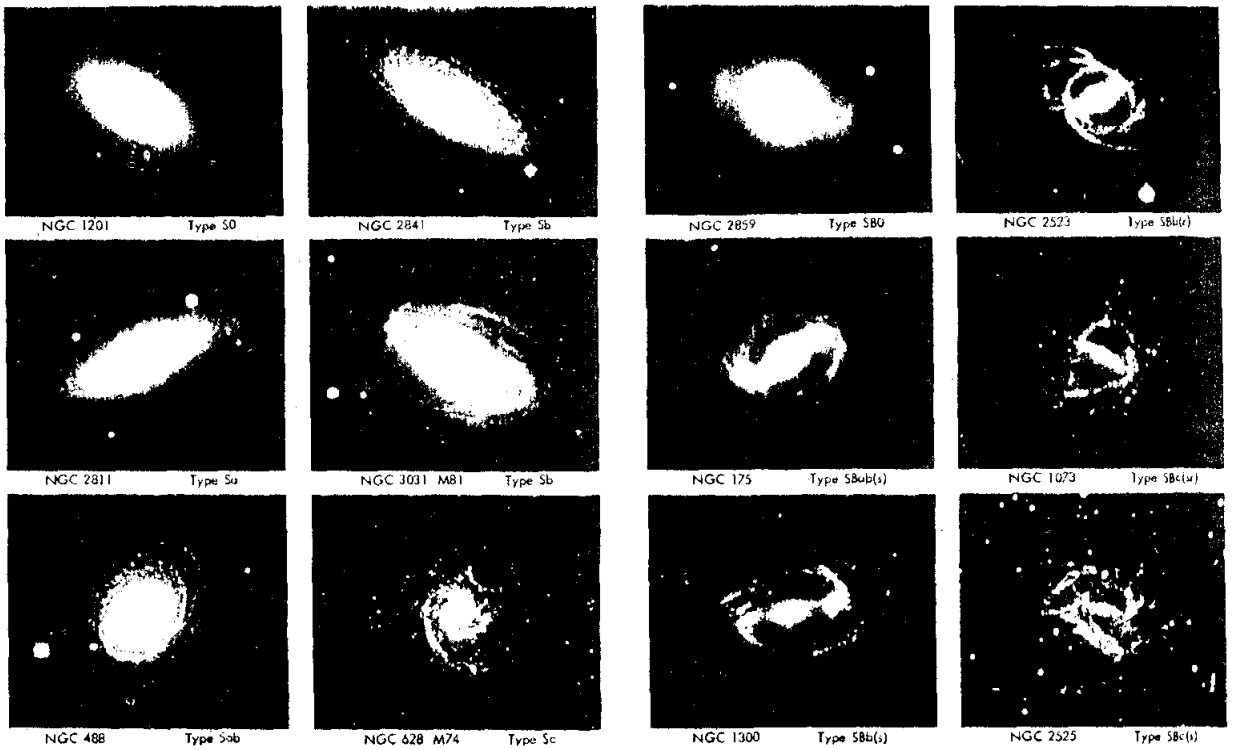
กังหันของจานของแกแลกซีนั้น เป็นปรากฏการณ์ของคลื่น หรือกล่าวเน้นได้ว่า เป็น "คลื่นความหนาแน่น (density wave)" ที่คงสภาพอยู่ได้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างมวลต่าง ๆ ที่กระจายกันอยู่ และคลื่นความหนาแน่นดังกล่าวจะทำให้มวลสารบริเวณนั้นเกิดความหนาแน่นมากผิดปกติกว่าบริเวณอื่น แนวคลื่นความหนาแน่นเป็นตัวก่อให้เกิดโครงสร้างของแขนกังหันขึ้น และไม่ว่าการหมุนเชิงอนุพันธ์ (differential rotation) ของแกแลกซีจะเกิดขึ้นกี่รอบก็ตาม แขนกังหันก็ยังคงอยู่สภาพเดิมตลอดไป เปรียบเทียบได้กับการขึงตาข่ายเป็นแนวตามแม่น้ำ กระแสน้ำจะพัดพาก้อนดินก้อนหินมาติดที่ตาข่าย เป็นผลให้บริเวณแนวตาข่ายมีปริมาณของก้อนหินมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ตาข่ายเปรียบเสมือนคลื่นความหนาแน่น และก้อนหินก็เปรียบเสมือนสารต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นแกแลกซีนั่นเอง รูปที่ 6.5 แสดงภาพของแกแลกซีรูปกังหันชนิด Sb ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างของแขนกังหันที่เกิดขึ้นเนื่องจากแนวคลื่นความหนาแน่น



รูปที่ 6.5 แผนผังการจำแนกชนิดแกแลกซีของฮับเบิล

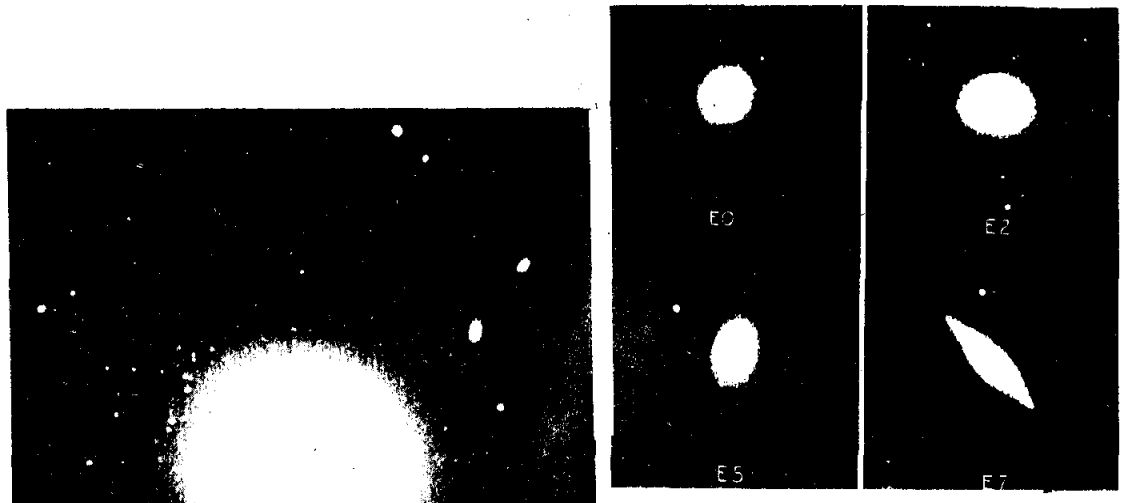
6.5 การจำแนกแกแลกซี

ในเอกภพนี้มีแกแลกซีที่มองเห็นด้วยกล้องโทรทรรศน์เป็นจำนวนมากมายหลายล้านระบบ แต่ละแกแลกซีอยู่ห่างจากโลกมาก แกแลกซีที่อยู่ใกล้ที่สุดที่กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่จึงจะสามารถมองเห็นได้มีระยะทางห่างถึง 12,000 ปีแสง ในปี ค.ศ. 1926 นักดาราศาสตร์ชาวอเมริกัน ชื่อ **เอ็ดวิน พี. ฮับเบิล** (Edwin P. Hubble) ได้จำแนกชนิดของแกแลกซีที่มีชื่อเสียงมากชื่อ แผนภาพ "tuning fork" ดังแสดงในรูปที่ 6.5 โดยจำแนกแกแลกซีตามโครงสร้างเป็น 3 ประเภท คือ แกแลกซีรูปไข่ (elliptical galaxies), แกแลกซีรูปกังหัน (spiral galaxies) และแกแลกซีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (irregular galaxies)



รูปที่ 6.6 ชนิดของแกแลกซีรูปกังหันและแกแลกซีรูปกังหันแบบมีแกน

ก. แกแลกซีรูปไข่ ปรากฏเหมือนกับกระจุกดาวทรงกลม กล่าวคือ ระบบของมันเป็นรูปทรงกลมหรือรูปไข่ ซึ่งประกอบด้วยดาวแก่ (old stars) ทั้งหมด มันไม่มีแขนของกังหันปรากฏคล้ายคลึงกับนิวเคลียสและฮาโล (halo) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแกแลกซีรูปกังหัน แม้ว่ามันมีฝุ่นและเนบิวลาแผ่รังสีที่สะดุดตา แต่จะสังเกตไม่ได้ง่ายในแกแลกซีรูปไข่ มีหลักฐานบางอย่างแสดงว่า แก๊สระหว่างดวงดาว (interstellar gas) มีอยู่อย่างเรี่ยราดไม่หนาแน่นในเส้นสเปกตรัมของมัน ในแกแลกซีรูปไข่ที่ใหญ่และอยู่ใกล้พบว่ามีกระจุกดาวทรงกลมเป็นจำนวนมาก รูปร่างของแกแลกซีเริ่มจากรูปทรงกลมจนถึงรูปไข่ที่แบนที่ความยาวของแกแลกซีมากกว่าความกว้างของแกแลกซีประมาณสามเท่า การหมุนรอบตัวเองของแกแลกซีจะทำให้รูปร่างของแกแลกซีป้านลง แกแลกซีหมุนเร็วมาก รูปร่างของแกแลกซีก็จะป้านมากขึ้น แต่การหมุนของมันไม่เร็วเท่ากับแกแลกซีรูปกังหัน ในการจำแนกแกแลกซีชนิดนี้ อักษร E หมายถึงแกแลกซีที่มีรูปไข่ ตัวเลขที่ตามหลังอักษร E หมายถึงองศาของการเป็นรูปไข่ซึ่งแบ่งออกเป็น 8 กลุ่ม เช่น E0 หมายถึงแกแลกซีที่มีรูปร่างทรงกลม, E7 เป็นแกแลกซีที่มีรูปร่างเป็นรูปไข่มากที่สุด (*หมายเหตุ* : –เลข 7 เป็นตัวเลขมากที่สุดของการจำแนกแกแลกซีชนิดนี้)



รูปที่ 6.7 ชนิดของแกแลกซีรูปไข่

รูปที่ 6.8 NGC 4486 (M 87) **เป็นแกแลกซีรูปไข่ยักษ์ในกลุ่มดาวหญิงสาว รูปนี้ถ่ายจากกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร เราสามารถสังเกตเห็นกระจุกดาวทรงกลมมากมายในแกแลกซีนี้**

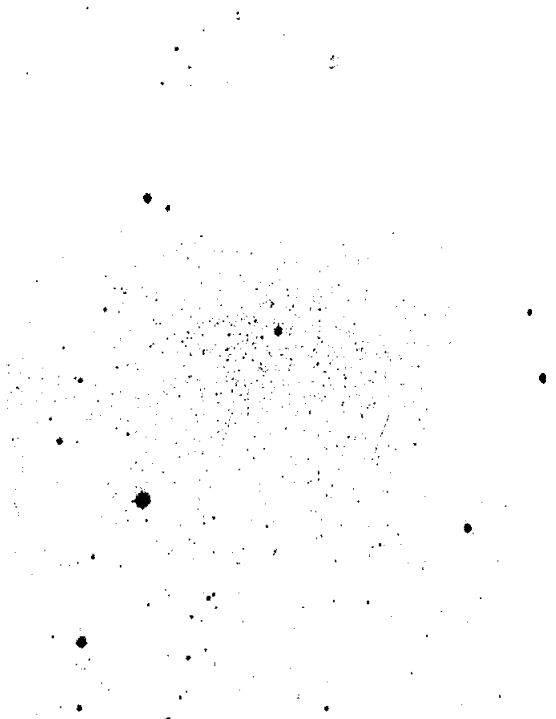
แกแลกซีรูปไข่มีช่วงของขนาด, มวล และสภาพส่องสว่างแตกต่างมากกว่าแกแลกซีรูปกังหัน เช่น M87 (เป็นแกแลกซีรูปไข่ยักษ์, *ดูรูปที่ 6.8*) มีสภาพส่องสว่างมากกว่าแกแลกซีรูปกังหันที่เรารู้จัก แกแลกซีรูปไข่ที่สว่างที่สุด เช่น NGC 4886 (อยู่ในกระจุกแกแลกซีในกลุ่มดาวผมของเบเรนิช) มีค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ที่สว่างกว่า -23 ซึ่งมากกว่า 10^{11} เท่าของสภาพส่องสว่างของดวงอาทิตย์ และมากกว่าสิบเท่าของสภาพส่องสว่างของแกแลกซีแอนโดรเมดา ข้อมูลของมวลของแกแลกซีคู่และจากกระจุกดาวทรงกลมพบว่า อัตราส่วนมวล-แสงของแกแลกซีรูปไข่ยักษ์อยู่ระหว่าง 20 และ 100 จากการศึกษาของ **เจนเนอร์** (Jenner) แสดงให้เห็นว่าบางแกแลกซีเหล่านี้มีมวลประมาณ 10^{13} เท่าของดวงอาทิตย์ การศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางของแกแลกซีรูปไข่ขนาดใหญ่มีความยากที่จะกำหนดขนาดที่แท้จริงได้ และขนาดของมันอย่างน้อยที่สุดหลายแสนปีแสง

รูปที่ 6.9 M 31, แกแลกซีแอนโดรเมดาในกลุ่มดาวแอนโดรเมดา จากภาพจะเห็นเทห์ฟากฟ้าค่อนข้างมัวขนาดเล็ก 2 ระบบ ซึ่งเป็นเทห์ฟากฟ้าบริวารของ M 31

รูปที่ 6.10 NGC 120, เป็นแกแลกซีรูปไข่ชนิด S0

มีแกแลกซีอีกประเภทหนึ่งเรียกว่า แกแลกซีรูปไข่แคระ (dwart elliptical galaxy) ตัวอย่างเช่น ระบบแกแลกซีเลโอ II (Leo II) ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.11 มีดาวสว่างบางดวงในแกแลกซีนี้ที่ซึ่งบริเวณศูนย์กลางของแกแลกซีเป็นตัวกลางโปร่งใส จำนวนดาวฤกษ์ทั้งหมด (ส่วนมากที่สุดมีความมัวมากที่จะแสดงได้ในภาพ) อาจจะอย่างน้อยที่สุดหลายล้านดวง ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของแกแลกซีชนิดนี้มีค่าประมาณ -10 ซึ่งสภาพส่องสว่างมีประมาณหนึ่งล้านเท่าของดวงอาทิตย์

รูปที่ 6.9 เป็นแกแลกซีแอนโดรเมดา (M 31) เป็นแกแลกซีรูปกังหันอยู่ในกลุ่มดาวแอนโดรเมดา ในภาพจะเห็นแกแลกซีรูปไข่สองระบบซึ่งเป็นแกแลกซีรูปไข่ยักษ์และแกแลกซีรูปไข่แคระ (ได้แก่ M 32 และ NGC 205 ตามลำดับ) แกแลกซีทั้งสองเป็นแกแลกซีบริวารของแกแลกซีแอนโดรเมดา



รูปที่ 6.11 แกแลกซีรูปไข่แคระเลโอ II (ภาพเนกะทีฟ) ถ่ายจากกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร

ข. แกแลกซีรูปกังหัน แกแลกซีของเราและ M 31 (หรือแกแลกซีแอนโดรเมดา) เป็นแกแลกซีรูปกังหันชนิดหนึ่ง แกแลกซีชนิดนี้ประกอบด้วยนิวเคลียส, จาน, ฮาโล (halo) และ

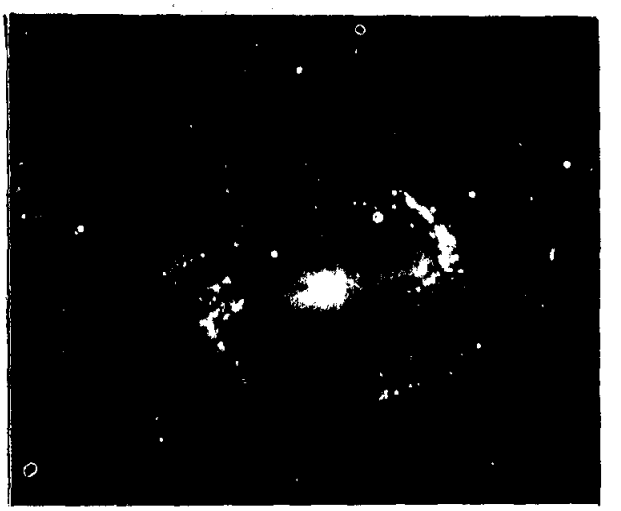
แขนกังหัน โดยที่แขนกังหันจะหมุนรอบนิวเคลียส สสารระหว่างดวงดาวมักจะถูกสังเกตพบในแขนกังหันของแกแลกซีรวมทั้งเนบิวลาแผ่รังสีสว่าง (bright emission nebula) และการดูดกลืนแสงโดยฝุ่นก็ปรากฏในบริเวณนี้ด้วย แขนกังหันประกอบด้วยดาวหนุ่ม (young stars) ซึ่งรวมทั้งดาวยักษ์ใหญ่ที่สว่างมาก ดาวฤกษ์สว่างเหล่านี้และเนบิวลาแผ่รังสีทำให้แขนกังหันมีความสว่างเด่นชัดเหมือนตะไลดอกไม้ไฟ ดาวฤกษ์ที่อยู่ระหว่างแขนกังหันมักจะเป็นดาวฤกษ์ที่ไม่ค่อยสะดุดตา นอกจากในแกแลกซีที่อยู่ใกล้ที่สุด กระจุกดาวเปิดสามารถมองเห็นได้ในแขนกังหันที่ใกล้กว่า และกระจุกดาวทรงกลมเห็นได้ในฮาโลของมัน เช่น ใน M 31, มีมากกว่าสองร้อยกระจุกดาวทรงกลมที่ถูกพิสูจน์แล้ว แกแลกซีรูปกังหันมีทั้งดาวหนุ่มและดาวแก่

ฮับเบิลได้จำแนกแกแลกซีรูปกังหันออกเป็น 2 ประเภท คือ แกแลกซีรูปกังหันปกติ (normal spiral galaxies) ซึ่งมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ Sa, Sb และ Sc อีกพวกหนึ่งเรียกว่า แกแลกซีรูปกังหันแบบมีแกน (barred spiral galaxies) แกแลกซีพวกนี้ตรงกลางมีดาวฤกษ์อยู่อย่างหนาแน่นมากคล้าย ๆ กับเป็นแท่งหรือเป็นแกนลากผ่านนิวเคลียสของแกแลกซี ฮับเบิลได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ SBa, SBb และ SBc (อักษร a, b, c หมายถึงขนาดของนิวเคลียสและความหนาแน่นของดาวฤกษ์ที่แขนกังหัน) แขนกังหันของระบบแกแลกซีมักจะเริ่มต้นจากปลายของแกนมากกว่าเริ่มต้นโดยตรงจากนิวเคลียส แกนของแกแลกซีรูปกังหันแบบมีแกนนี้บางส่วนเป็นส่วนตรงของแขนกังหัน และบางครั้งประกอบด้วยสสารระหว่างดวงดาวและดาวหนุ่ม จากการศึกษาการหมุนของแกแลกซีรูปกังหันแบบมีแกนบางระบบแสดงให้เห็นว่า ส่วนข้างในของมัน (ออกไปสู่ปลายของแกน) กำลังหมุนคล้ายกับล้อของแข็ง ถ้าไม่มีความแตกต่างของการหักหรือการบิดเบี้ยวเนื่องจากแรงเชียร์ (shear) ของการหมุน แกนตรงนี้สามารถมีอยู่ตลอดไปมากกว่าที่จะสูญหายไป รายละเอียดของโครงสร้างและพลวัตของแกนของแกแลกซีรูปกังหันแบบมีแกนยังคงไม่เข้าใจโดยตลอด

เส้นผ่านศูนย์กลางของแกแลกซีรูปกังหันอยู่ในช่วงจากประมาณ 20,000 ถึงมากกว่า 100,000 ปีแสง และฮาโลมีดอยู่ห่างไกลจากเส้นผ่านศูนย์กลางมาก จากขอบเขตจำกัดของข้อมูลที่สังเกตได้มวลของมันอยู่ในช่วงจาก 10^9 ถึง 10^{12} เท่าของมวลของดวงอาทิตย์ อัตราส่วนมวล-แสงของส่วนข้างในของแกแลกซีรูปกังหันอยู่ระหว่าง 1 และ 20 ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของแกแลกซีรูปกังหันส่วนมากอยู่ในช่วง -16 ถึง -21 แกแลกซีของเราและแกแลกซีแอนโดรเมดา (M 31) บางทีอาจจะใหญ่และมวลมากเมื่อเทียบกับแกแล่กซีรูปกังหันระบบอื่น ๆ

รูป 6.12 NGC 4565 เป็นแกแลกซีรูปกังหันที่เห็นด้านข้างในกลุ่มดาวผมของเบเรนิซ ถ่ายด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร

รูป 6.13 NGC 3031 (M 81) เป็นแกแลกซีรูปกังหันในกลุ่มดาวหมีใหญ่ ถ่ายด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร

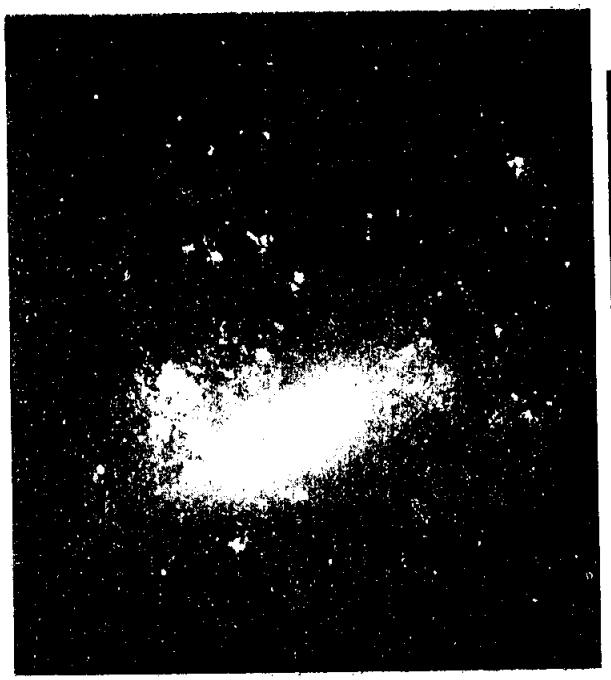


รูปที่ 6.14 NGC 1300 เป็นแกแลกซีรูปกังหันแบบมีแกนในกลุ่มดาวอิริดานุส (Eridanus) ถ่ายด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร

รูปที่ 6.15 NGC 5194 (M 51) เป็นแกแลกซีรูปกังหัน กลุ่ม Sc พร้อมแกแลกซีประกบของมัน NGC 5195 ซึ่งเป็นแกแลกซีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ประเภท Irr II

รูปที่ 6.16 NGC 598 (M 33) เป็นแกแลกซีรูปกังหันในกลุ่มดาวไตรแองกูลัม

ค. แกแลกซีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน แกแลกซีประเภทนี้มีรูปร่างที่ไม่สามารถจัดเข้ากับแกแลกซีสองประเภทดังกล่าวข้างต้นได้ แกแลกซีที่มีรูปร่างไม่แน่นอนแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่ง ใช้เครื่องหมายแกแลกซี Irr I ประกอบด้วยวัตถุที่แสดงเป็นดาวชั้น O และ B และเนบิวลาแผ่รังสีตัวอย่างที่รู้จักกันดี เช่น กลุ่มเมฆเมกเจลแลนใหญ่และกลุ่มเมฆเมกเจลแลนเล็ก (Large and Small Clouds of Magellan) ซึ่งเป็นแกแลกซีเพื่อนบ้านของเราที่ใกล้ที่สุด เราพบกระจุกดาวทรงกลมเป็นจำนวนมากในแกแลกซีเหล่านี้ เช่นเดียวกับดาวแปรแสง, ดาวยักษ์ใหญ่ และเนบิวลาแก๊ส แกแลกซีเหล่านี้ประกอบด้วยทั้งดาวหนุ่มและดาวแก่ กลุ่มเมฆเมกเจลแลนเล็กปรากฏเห็นได้ชัดว่ามันไม่มีฝุ่น แม้ว่ามันจะประกอบด้วยแก๊สระหว่างดวงดาว การที่กลุ่มฝุ่นไม่เด่นสะดุดตานี้เป็นสิ่งธรรมดาในสิ่งแรกของชนิดของแกแลกซีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน



รูปที่ 6.17 กลุ่มเมฆแมกเจลแลนใหญ่

รูปที่ 6.18 NGC 3034 (M 82) เป็นแกแลกซีที่มีรูปร่างไม่แน่นอนประเภท Irr II

กลุ่มที่สองใช้เครื่องหมาย Irr II ซึ่งคล้ายคลึงกับวัตถุใน Irr I การที่รูปร่างของมันไม่สมมาตร วัตถุในแกแลกซีกลุ่มนี้จึงไม่สามารถแยกออกเป็นดาวฤกษ์หรือกระจุกดาวได้ แต่มีความสมบูรณ์ในอัสณฐานในการจัดรูปแบบของมันเอง เส้นสเปกตรัมของมันเป็นแบบต่อเนื่อง โดยเป็นเส้นสเปกตรัมดูดกลืนรังสีและคล้ายคลึงกับดาวฤกษ์ในชั้นสเปกตรัม A 5 แสดงให้เห็นว่า ดาวฤกษ์ในแกแลกซีเหล่านี้มีสภาพส่องสว่างไม่เพียงพอที่จะจำแนกออกจากกันได้ โดยทั่วไปแกแลกซี Irr II แสดงความเด่นของแถบดำของการดูดกลืนของฝุ่นระหว่างดวงดาว ตัวอย่างเช่น M 82 *(ดูรูปที่ 6.18)* และแกแลกซีประกบ (companion galaxy : NGC 5195) ของแกแลกซีรูปกังหัน (M 51) ตามรูปที่ 6.15

ฮับเบิลได้สังเกตแกแลกซีจำนวน 600 แกแลกซี พบว่า 17% เป็นประเภทแกแลกซีรูปไข่, 50% เป็นประเภทแกแลกซีรูปกังหันปกติ, 30% เป็นประเภทแกแลกซีรูปกังหันแบบมีแกน และ 3% เป็นประเภทแกแลกซีที่มีรูปร่างไม่แน่นอน

เนื่องจากแกแลกซีมีระยะทางห่างจากโลกมากและมีความมัวมากซึ่งไม่เหมือนกับดาวฤกษ์และดาวเคราะห์ทั้งหลาย ดังนั้น แกแลกซีแต่ละระบบจึงไม่มีชื่อเรียกโดยเฉพาะ นักดาราศาสตร์ใช้อักษรและตัวเลขตามแคตตาล็อกเรียกแทนแกแลกซีแต่ละระบบ แคตตาล็อกอันแรกตั้งโดยนักดาราศาสตร์ชื่อ **เมสสิเออร์** (Messier) แคตตาล็อกอันนี้จึงมีชื่อว่า เมสสิเออร์ แคต-

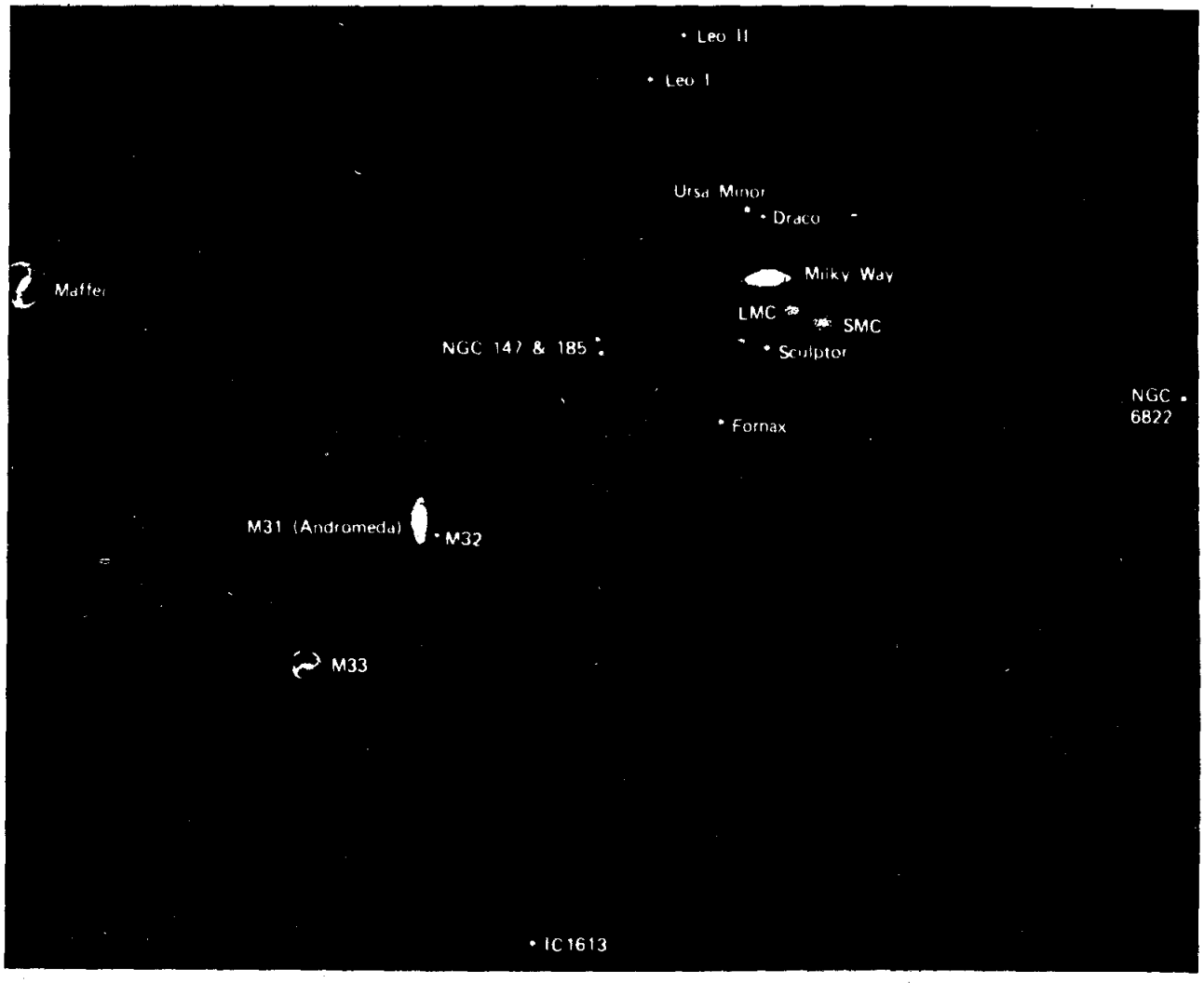
ตาล็อก *(โปรดดูชื่อตามตารางท้ายเล่ม)* โดยใช้อักษร M นำหน้าแล้วตามด้วยตัวเลข เช่น M 87 แคตตาล็อกที่จัดโดยเมสสิเออร์ยังไม่สมบูรณ์ ส่วนแคตตาล็อกที่สมบูรณ์กว่ามีชื่อเรียกว่า New General Catalog ใช้ตัวย่อว่า NGC ซึ่งจำแนกโดยนักดาราศาสตร์ชื่อ **เฮอร์เชล** ในภายหลังได้มีการเพิ่มเติมโดยใช้อักษร IC (ย่อจากคำว่า Index Catalog), ส่วน "The Third and The Fourth Cambridge Catalog" (3 C และ 4 C) เป็นชื่อของดาวฤกษ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดวิทยุซึ่งรวมทั้งแกแลกซีที่เป็นแหล่งกำเนิดวิทยุด้วย

6.6 กลุ่มแกแลกซีท้องถิ่น

จากการที่นักดาราศาสตร์ได้ทำแผนที่ของเอกภพ โดยเริ่มต้นแกแลกซีที่เป็นเพื่อนบ้านกับแกแลกซีทางช้างเผือก พบว่าแกแลกซีของเราอยู่ร่วมกับแกแลกซีอื่นเป็นกระจุกแกแลกซีเล็ก ๆ มีจำนวนประมาณ 20 แกแลกซี ซึ่งมีชื่อเรียกว่า กลุ่มแกแลกซีท้องถิ่น (local group galaxy) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มแกแลกซีท้องถิ่นมีค่าประมาณ 3 ล้านปีแสง กลุ่มแกแลกซีท้องถิ่นนี้เชื่อว่าเป็นกระจุกแกแลกซีที่ถาวรเนื่องจากยึดกันด้วยแรงโน้มถ่วงซึ่งกันและกัน ทางช้างเผือกอยู่ใกล้ขอบด้านหนึ่งของกลุ่มฯ และแกแลกซีแอนโดรเมดาอยู่ในกลุ่มดาวแอนโดรเมดา มีระยะห่างจากโลก 2 ล้านปีแสง อยู่ที่ขอบอีกด้านหนึ่งของกลุ่มฯ แกแลกซีแอนโดรเมดานี้เป็นแกแลกซีใหญ่ที่สุดในกลุ่มฯ และมีมวลมากที่สุดด้วย โดยมีขนาด $1\frac{1}{2}$ เท่าของแกแลกซีทางช้างเผือก สำหรับแกแลกซีที่ใหญ่เป็นที่สามของกลุ่มฯ คือ M 33 อยู่ในกลุ่มดาวไตรแองกูลัม (constellation Triangulum) มีมวลเพียง 1/10 ของมวลของแกแลกซีแอนโดรเมดา นอกนั้นเป็นแกแลกซีแคระ (dwarf galaxies) มีมวลน้อยกว่า 1/100 ของแกแลกซีทางช้างเผือก

แกแลกซีที่อยู่ใกล้กับแกแลกซีของเรามากที่สุดคือ กลุ่มเมฆเมกเจลแลนใหญ่ ใช้สัญลักษณ์ LMC และกลุ่มเมฆเมกเจลแลนเล็ก ใช้สัญลักษณ์ SMC แกแลกซีทั้งสองกลุ่มอยู่ห่างจากโลกน้อยกว่า 200,000 ปีแสง แกแลกซีนอกนั้นจะสามารถสังเกตเห็นได้ชัดในบริเวณซีกโลกภาคใต้ เช่น สคัลเทอ (Sculptor), ฟอร์แนก (Fornax), เลโอ I (Leo I) และ เลโอ II (Leo II) แกแลกซีเหล่านี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่กี่พันปีแสง

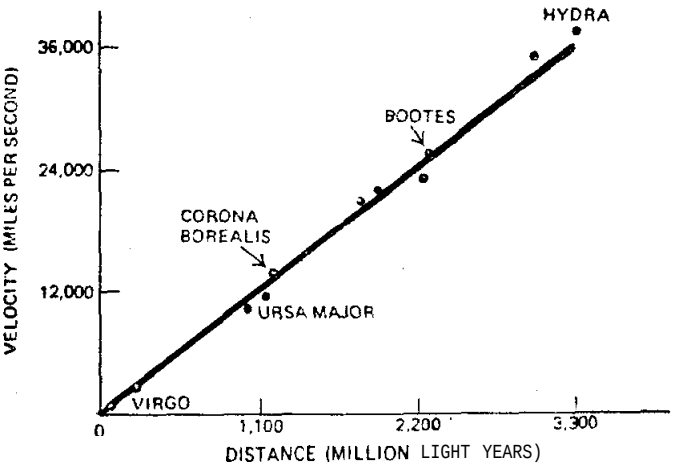
แกแลกซีขนาดใหญ่อยู่ใกล้ขอบของกลุ่มแกแลกซีท้องถิ่น ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1968 แกแลกซีนี้ไม่สามารถเห็นได้ด้วยทัศนอุปกรณ์ใด ๆ จากโลกได้ เนื่องจากมันถูกบังโดยกลุ่มเมฆฝุ่นในทางช้างเผือก แต่มันสามารถถูกตรวจวัดได้โดยดาราศาสตร์อินฟราเรด (infrared astronomy) แกแลกซีนี้มีชื่อเรียกว่า เมฟเฟอิ 1 (Maffei 1) ดูเหมือนว่าแกแลกซี แมฟเฟอิ 1 มีมวลประมาณเกือบเท่าแกแลกซีของเราและมันมีรูปร่างเป็นแกแลกซีรูปไข่ ส่วนประกอบไม่มีแก๊สระหว่างดวงดาว มีระยะทางประมาณ 3 ล้านปีแสงจากโลก



รูปที่ 6.19 ภาพวาดแสดงถึงแกแลกซีกลุ่มท้องถิ่นเมื่อมองจากภายนอก

6.7 ทฤษฎีวิวัฒนาการของเอกภพ

จากการสังเกตระยะทางและตำแหน่งของแกแลกซีพบว่า แกแลกซีมีการกระจายเกือบสม่ำเสมอในอวกาศ จากการศึกษาเส้นสเปกตรัมจากแกแลกซีพบว่า เส้นสเปกตรัมเส้น H และ K ของธาตุแคลเซี่ยม (calsium) เคลื่อนไปทางแถบแสงสีแดง (red shift : *โปรดดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 8.5*) แสดงว่าแกแลกซีทุกระบบมีการเคลื่อนที่ออกจากตัวเรา อัตราความเร็วของแกแลกซีมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าระยะทางจากแกแลกซีถึงเรามีค่ามากขึ้น จากรูปที่ 6.20 การเพิ่มของความเร็วจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระยะทาง

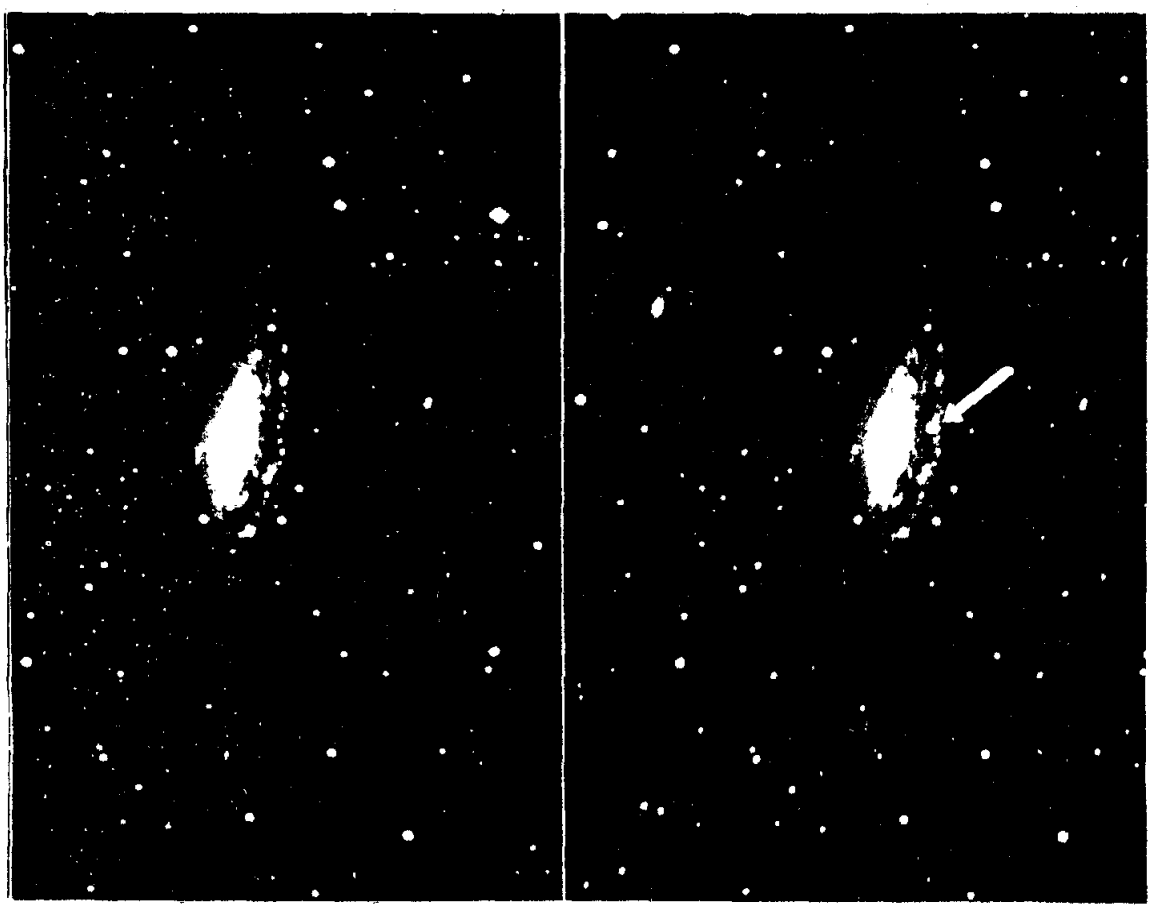


รูปที่ 6.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของแกแลกซีกับระยะทางของแกแลกซี พบว่าแกแลกซีที่อยู่ไกลจะเคลื่อนที่ออกจากตัวเราด้วยความเร็วสูงกว่าแกแลกซีที่อยู่ใกล้

ปัจจุบันนี้ทฤษฎีวิวัฒนการของเอกภพซึ่งเป็นที่ยอมรับของนักดาราศาสตร์ทั่วไป มี 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีบิก-แบงก์ (Big-Bang theory) และทฤษฎีแห่งการดำรงอยู่ (Steady state theory)

ทฤษฎีบิก-แบงก์ ทฤษฎีนี้เสนอโดยนักดาราศาสตร์ชื่อ **เลอแมทร์** (Lemaitre) ในปี ค.ศ. 1927 โดยเสนอว่า เอกภพเริ่มต้นเกิดจากการระเบิดของนิวเคลียสแรกเริ่ม (primeval nucleus) ซึ่งนิวเคลียสแรกเริ่มประกอบด้วยวัตถุทุกชนิดในเอกภพบรรจุในปริมาตรอวกาศเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ต่อมานักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ชื่อ **ยอร์จ กาโมว์** (George Gamow) ได้สนับสนุนตามความคิดของเลอแมทร์ และได้เรียกทฤษฎีของเขาว่า ทฤษฎีบิก-แบงก์ กาโมว์พยายามศึกษาถึงส่วนประกอบของเอกภาพเมื่อตอนแรกเริ่มเทียบกับจำนวนที่สังเกตได้ในปัจจุบัน และนักดาราศาสตร์คาดว่า ถ้าทฤษฎีนี้เป็นจริง เอกภพในปัจจุบันควรจะหลงเหลือคลื่นรังสีความร้อนอุณหภูมิ 3 องศาเคลวิน ในปี ค.ศ. 1964 ดร.โรเบิร์ต ดับบลิว. วิลสัน และ เอ. เพนเซียส ได้ศึกษาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งแวดล้อมระบบกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแกแลกซีช้างเผือก เขาทั้งสองได้ค้นพบคลื่นรังสีความร้อนอุณหภูมิ 3 องศาเคลวินกระจายอยู่ทั่วไปในอวกาศอันเป็นพลังงานที่ยังเหลืออยู่จากบิกแบงก์ในอดีตโดยบังเอิญ

ทฤษฎีแห่งการดำรงอยู่ ทฤษฎีนี้เสนอโดย **เอช. บอนดี** (H. Bondi), **ที. โกลด์** (T. Gold) และ **เอฟ. ฮอล์ย** (F. Hoyle) ทฤษฎีนี้กล่าวว่า เอกภพในอดีต ปัจจุบัน และอนาคตก็เหมือนกับอย่างทุกวันนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เอกภพนี้ไม่มีการเริ่มต้นและไม่มีจุดจบ เนื่องจากว่าเอกภพมีการขยายตัวจะทำให้เกิดที่ว่างระหว่างแกแลกซีมากขึ้น ฮอลย์ ได้อธิบายว่า จะมีวัตถุที่สร้างขึ้นมาใหม่ตลอดเวลาในอัตราที่มากเพียงพอสำหรับทดแทนวัตถุที่เคลื่อนที่หนีไป ทฤษฎีนี้ฮอล์ยเรียกว่า ทฤษฎีแห่งการสร้างสรรค์ต่อเนื่อง (The continuous creation of matter) ฉะนั้น การกระจายของแกแลกซีในอวกาศก็จะเหมือนเดิม ไม่ว่าเราจะมองท้องฟ้าในเวลาใด ๆ ณ ที่ใดในเอกภพก็ตาม เราจะเห็นเอกภพมีลักษณะเช่นเดิม อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีแห่งการดำรงอยู่มีจุดอ่อน คือ จากการที่สมมติว่ามีการสร้างวัตถุจากสิ่งที่ไม่มีอะไรเลย ถึงแม้ว่าทฤษฎีนี้จะมีจุดอ่อน แต่ก็ยังมีคนจำนวนมากที่ยังเชื่อตามทฤษฎีแห่งการดำรงอยู่และพยายามหาเหตุผลมาสนับสนุนตามความเชื่อของเขาต่อไป ปัจจุบันนี้ทฤษฎีได้ล้มเลิกไปแล้ว



รูปที่ 6.21 การเกิดซูเปอร์โนวาใน NGC 7331 ในปี ค.ศ. 1959 ได้มีการสังเกตพบซูเปอร์โนวาในแกแลกซี NGC 7331 โดยการสังเกตซูเปอร์โนวา นักดาราศาสตร์สามารถประมาณระยะทางของแกแลกซีได้